



ID0000034

## **PENILAIAN KEUTUHAN MATERIAL PADA KOMPONEN SIKLUS UAP AIR PEMBANGKIT LISTRIK (PIPA UAP UTAMA).**

**Soedardjo, Histori, Ari Triyadi.**

### **ABSTRAK**

**PENILAIAN KEUTUHAN MATERIAL PADA KOMPONEN SIKLUS UAP AIR PEMBANGKIT LISTRIK (PIPA UAP UTAMA).** Telah dilakukan penilaian keutuhan material pada komponen pembangkit listrik. Material tersebut adalah pipa uap utama dari PLTU Suralaya Unit II. Penilaian dilakukan dengan teknik replika. Cacat yang dijumpai adalah dua buah cacat porositas berasal dari dua titik cuplikan dari enam buah titik populasi pengambilan cuplikan. Cacat porositas tersebut berdasarkan perkembangan rongga dalam baja yang dikemukakan oleh Neubauer dan Wedel masih dalam kerusakan kelas A. Kerusakan kelas A tersebut berarti tidak perlu adanya tindakan apa-apa sampai dilakukan pemeliharaan besar-besaran sesuai jadwal yang telah ditetapkan berikutnya. Cacat porositas tersebut tergolong rongga yang terisolasi dan belum perlu dilakukan penggantian komponen pipa uap utama tersebut dalam waktu kurang dari 3 tahun setelah pengujian replika.

### **ABSTRACT**

**EVALUATION OF MATERIAL INTEGRITY ON ELECTRICITY GENERATOR WATER STEAM CYCLES COMPONENT (MAIN STEAM PIPE).** The evaluation of material integrity on electricity generator component has been done. That component was main steam pipe of Unit II Suralaya Coal Fired Power Plant. Evaluation was done by replication technique. The damage was found are two porosity's, from two point samples of six points sample population. Based on cavity evolution in steels, which proposed by Neubauer and Wedel that porosity's still at class A damage. For class A damage, its means no remedial action would be required until next major scheduled maintenance outage. That porosity's was grouped on isolated cavities and not need to repair that main steam pipe component less than three year after replication test.

### **PENDAHULUAN**

Masalah Penilaian Keutuhan Material pada Komponen Siklus Uap Air Pembangkit Listrik, yang dibahas pada penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup Pipa Uap Utama (*Main Steam Pipe*) saja.

Status ilmiah dewasa ini adalah penelitian mengenai Pipa Uap Utama masih jarang dilakukan, karena bahan logam dari Pipa Uap Utama dirancang dengan keandalan tinggi sehingga diprediksi jarang terjadi kelainan.

Pipa Uap Utama, digunakan untuk mengalirkan uap yang diproduksi dari ketel atau *boiler* ke pembangkit listrik turbin (*turbine*). Suatu hipotesa jika ada kelainan pada Pipa uap Utama, maka biasanya akan mengakibatkan kelainan pada turbin, sehingga unjuk kerja turbin akan terganggu dan penyediaan daya listrik juga akan terganggu. Kelainan pada Pipa Uap Utama tersebut dapat dicegah dengan inspeksi secara periodik dalam rangka pendeteksian dini, sehingga dapat diatasi akan terjadinya kelainan yang lebih besar yang dapat mengganggu unjuk kerja sistem keutuhan bahan komponen siklus uap air pembangkit listrik.

Dari usulan penelitian berjudul Penilaian Keutuhan Material pada Komponen Uap Air Pembangkit Listrik (Pipa Uap Utama), maka telah dilakukan

pengujian dengan teknik replika pada beberapa pipa dalam boiler PLTU Suralaya. Pipa tersebut telah digunakan sejak tahun 1985. Dengan cara uji replika diharapkan dapat diketahui deformasi struktur mikronya.

Keunggulan teknik replika yang digunakan daripada teknik lainnya seperti teknik ultrasonik, teknik eddy current, teknik radiografi dan lain-lain, adalah teknik replika dapat mengetahui struktur mikro suatu bahan, tetapi teknik lain yang disebutkan tadi hanya dapat mengetahui adanya cacat yang terdapat pada benda uji. Jika dilakukan penelitian lebih lanjut, maka teknik replika dapat mengetahui suatu benda uji tersebut dioperasikan pada suhu dan tekanan diatas atau dibawah suhu dan temperatur rancangannya. Pada makalah ini dibatasi untuk mendeteksi adanya cacat-cacat seperti porositas, retak melalui struktur mikro benda uji. Dengan menganalisis struktur mikro, maka hasilnya akan lebih presisi dibandingkan hasil uji dengan teknik ultrasonik, eddy current maupun radiografi. Makalah ini tidak membahas masalah yang menyangkut suhu dan tekanan operasi dari Pipa Uap Utama

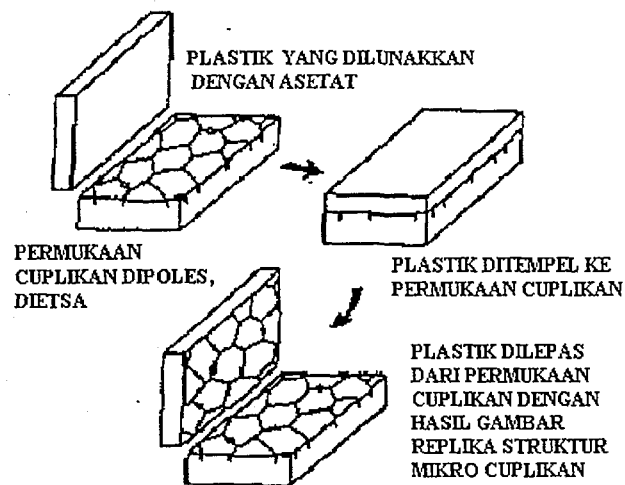
Kelemahan teknik replika adalah, hanya mampu mendeteksi cacat pada permukaan atau dekat permukaan benda uji, sedang teknik uji lainnya mampu untuk cacat relatif jauh dibawah permukaan benda uji.

Tujuan dari makalah ini adalah menampilkan struktur mikro hasil replika serta menganalisisnya untuk mengetahui bahwa bahan yang diuji masih baik atau terdapat beberapa deformasi. Untuk menganalisis deformasi didasarkan pada teori evolusi rongga-rongga antar butir dalam paduan baja yang dikemukakan oleh Neubauer dan Wedel.

## TEORI

### Teknik replika

Bidang replika sangat efektif untuk mengetahui gambar struktur mikro pencerminan dari suatu permukaan cuplikan. Dengan demikian dari proses replika di lapangan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk diuji dan dievaluasi kondisi metalurgi dari cuplikan. Dengan demikian pengujian metalurgi cuplikan tidak perlu dengan melakukan pemotongan bagian-bagian komponen tertentu yang akan diuji. Replika mampu untuk menentukan data metalurgi secara rinci dari komponen pipa uap utama yang diuji. Prinsip teknik replika untuk permukaan suatu cuplikan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Prinsip teknik replika dengan pelunakan aseton

Replika suatu permukaan merupakan topografi dari permukaan suatu cuplikan. Keuntungan permukaan replika aseton mempunyai resolusi yang tinggi, tetapi mempunyai kelemahan diperlukannya suatu bahan penutup untuk menghindari kerusakan hasil replika tersebut. Bahan penutup tersebut sampai saat ini masih dilakukan penelitian lebih lanjut dengan berbagai uji coba yang belum berhasil dengan sempurna.

Pada teknik replika secara langsung atau derajat pertama, replika dilakukan pada permukaan cuplikan lalu diuji dibawah mikroskop. Persiapan teknik replika secara langsung ini dapat dikerjakan dilapangan secara sederhana. Cara langsung tersebut sangat efektif dengan menggunakan bahan replika dari plastik tertentu dan tidak perlu merusak atau memotong cuplikan yang akan diuji.

Setelah plastik dilunakkan dengan bahan kimia tertentu seperti aseton, maka plastik dapat membuat pola-pola topografi permukaan cuplikan sesuai struktur mikro permukaan cuplikan tersebut. Pengerjaan replika dapat dilakukan secara mudah dengan waktu relatif singkat sekitar 2 menit. Plastik replika selanjutnya diamati di bawah mikroskop di lapangan dengan pembesaran berdasarkan pengalaman yang baik adalah 100 x. Jika dengan pembesaran 100 x tersebut, hasil replika dapat terlihat, maka pengamatan hasil replika dapat diamati, diphotokopi, dievaluasi di laboratorium dengan mikroskop optik maupun SEM (*Scanning Electron Spectrophotometer*), dengan pembesaran dari 100 x hingga 20.000 x, tergantung kepada resolusi penelitian yang dikehendaki.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, plastik replika dilunakkan dengan aseton, hingga plastik lunak dan aseton mulai teruapkan semuanya, segera setelah itu plastik replika ditempelkan pada permukaan cuplikan yang telah dipoles dan diatsa. Setelah 60 hingga 90 detik, plastik replika dilepas secara hati-hati dari permukaan cuplikan lalu ditempelkan pada kaca preparat yang telah disediakan untuk fasilitas evaluasi struktur mikro di bawah mikroskop. Kegunaan kaca preparat tersebut agar permukaan plastik replika dapat dipertahankan tetap datar, sehingga pengamatan di bawah mikroskop tidak terlalu sulit mencari fokusnya daripada jika permukaan plastik replika tersebut bergelombang tidak rata.

#### **Keuntungan teknik replika.**

Keuntungan teknik replika dengan menggunakan mikroskop kecil yang dapat dibawa ke lapangan antara lain:

- Dapat mengetahui segera struktur mikro permukaan cuplikan secara segera, sehingga dapat dilakukan suatu keputusan sesegera mungkin, misalnya untuk memotong cuplikan untuk diuji lebih lanjut dengan teknik uji mulur, pengujian ultra sonik, pengujian sinar X dan sebagainya.
- Dengan mikroskop yang dibawa ke lapangan yang dilengkapi dengan lensa obyektif bervariasi hingga 400 x akan sangat membantu evaluasi struktur mikro di lapangan sesegera mungkin, sehingga dapat dilakukan tindakan preventive sebelum cuplikan rusak lebih berat.
- Pengotoran permukaan plastik replika yang disimpan lama atau dibawa kemana-mana dapat dihindari, karena dapat segera diamati struktur mikro tanpa adanya pengotoran dari jari tangan dan sebagainya.
- Tidak membuang-buang waktu dan dapat segera mengevaluasi struktur mikro cuplikan. Apalagi jika tempat cuplikan pada kondisi atmosferik yang ekstrim, seperti suhu tinggi atau rendah sekali, tekanan bukan tekanan atmosferik, serta kondisi lingkungan bergas racun, atau mengandung bahan-bahan kimia dan atau bahan lainnya yang membahayakan, atau topografi letak cuplikan yang tinggi sekali atau di dalam tanah yang dalam sekali.

Replika yang menggunakan plastik asetat, dapat dilunakkan dengan menggunakan aseton. Bahan kimia cairan aseton tersebut diteteskan di permukaan

plastik asetat. Aseton tersebut sangat berbahaya dan mudah terbakar seperti metil asetat. Untuk meningkatkan tingkat resolusi hasil replika maka pada bagian belakan plastik asetat dapat diberi bahan cat tertentu berwarna hitam yang cepat kering sebelum plastik asetat tersebut dilepas dari permukaan cuplikan

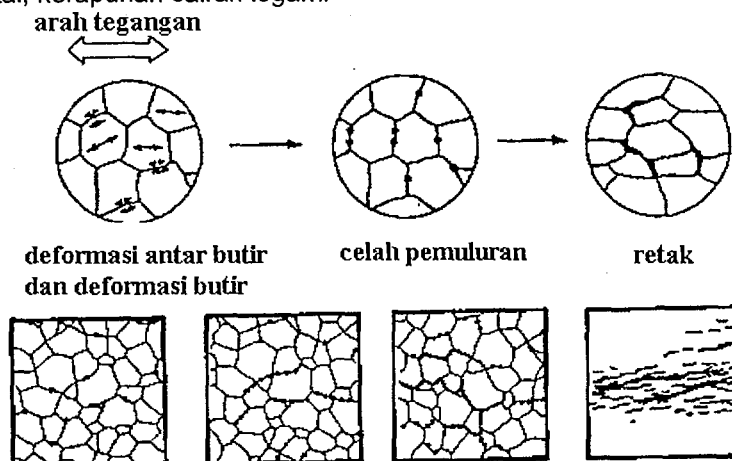
### Kemampuan teknik replika untuk mendeteksi deformasi struktur mikro

Dengan menggunakan fasilitas teknik replika, maka dapat ditentukan deformasi struktur mikro, seperti deformasi batas butir, mulur dan retak seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Secara teoritis, dari hasil replika dapat diidentifikasi adanya cacat awal seperti *rolling taps* yaitu suatu cacat yang diakibatkan oleh *excessive rolling* dari suatu bahan, cacat wadah, perlakuan panas yang tak sesuai, patahan.

Cacat yang terjadi pada daerah las-lasan antara lain, fusi tidak penuh, patahan padatan, patahan daerah terpengaruh panas, patahan akibat adanya hidrogen, patahan akibat pemanasan ulang, lubang-lubang dan slag.

Cacat yang terjadi saat suatu benda telah mengalami operasi yang lama, antara lain patahan ulet, patahan getas, kelelahan, kelelahan akibat panas, kelelahan korosi, mulur, kerusakan akibat adanya hidrogen, korosi tegangan, korosi antar kristal, kerapuhan cairan logam.

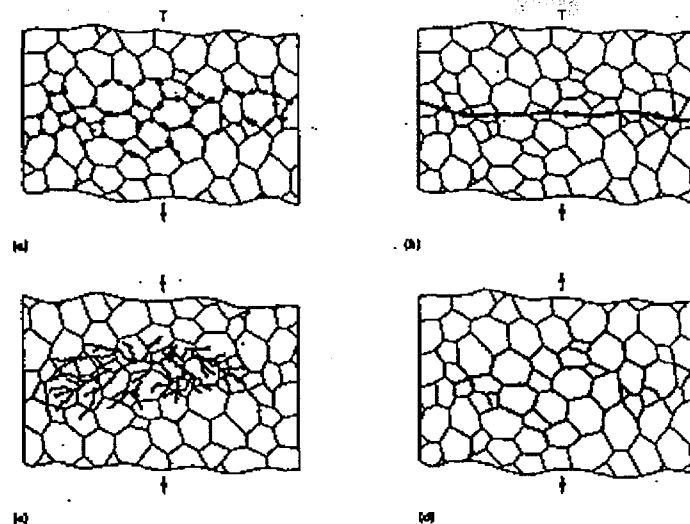


Gambar 2. Deformasi antar batas butir, mulur, retakan serta perkembangan patahan mulur dari celah menyebar, mengumpul di batas butir, lalu membentuk patahan makroskopis.

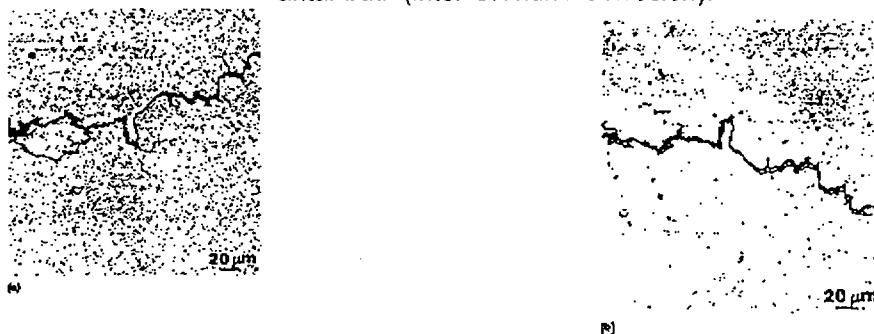
### Analisis struktur mikro

Dengan adanya retak sangat penting untuk menentukan lebih lanjut sebab-sebab utama terjadinya suatu retak pada suatu komponen. Evaluasi terhadap suatu retak, didasarkan pada bentuk, panjang dari retak tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 tersebut ditunjukkan perkembangan dari berbagai macam retak pada struktur baja, seperti retak karena kondisi mulur, lelah, korosi tegangan dan korosi antar butiran. Masing-masing bentuk retak mempunyai karakteristik sendiri-sendiri, dan memerlukan tindakan preventif yang khusus, seperti untuk menghilangkan lingkungan korosif, atau mengurangi derajat tegangan, dan sebagainya.



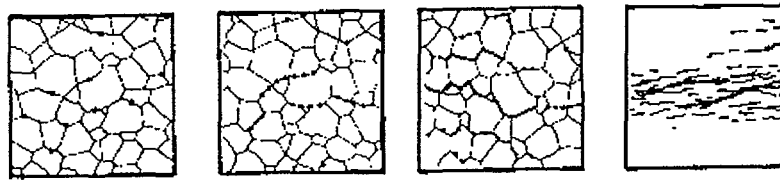
Gambar 3. Perkembangan dari berbagai macam retakan, (a) Mulur, (b) Kelelahan (*Fatigue*), (c) Karat akibat adanya tegangan (*Stress Corrosion*), (d) Karat antar butir (*Inter Granular Corrosion*).



Gambar 4. Contoh retak permukaan pada boiler. Perbandingan dari hasil (a) struktur mikro yang sebenarnya dan (b) retak hasil replika.

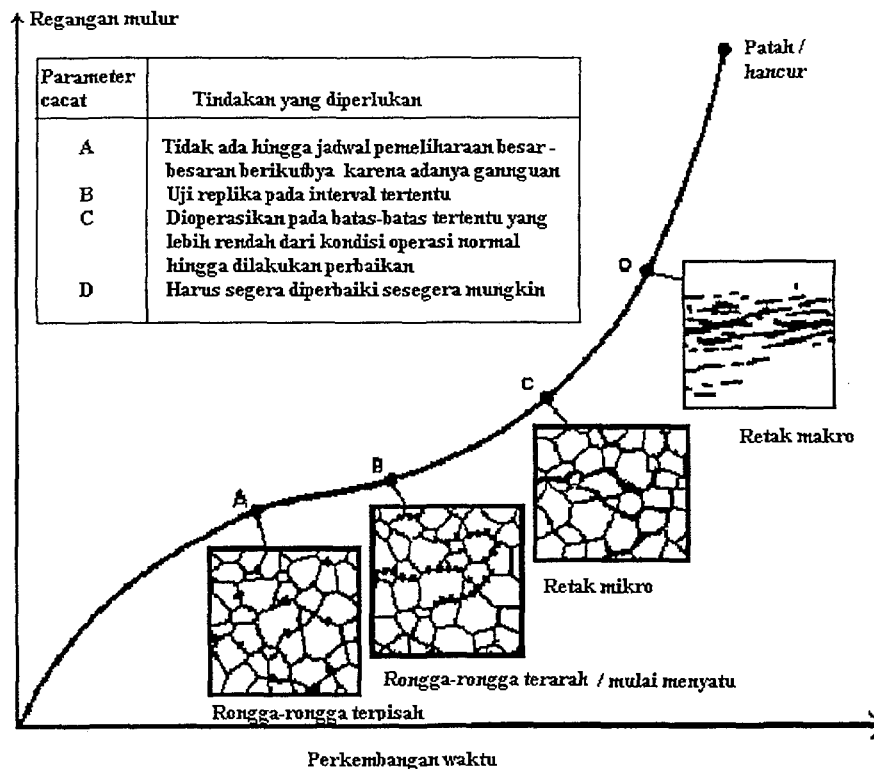
Penyebab cacat mulur paling utama disebabkan komponen pembangkit listrik dioperasikan dengan adanya tegangan pada komponen tersebut dan suhu operasi yang berlebihan. Cacat mulur tersebut dapat diuji secara replika. Dengan demikian uji replika merupakan salah satu alat yang dapat untuk menentukan prediksi sisa umur suatu komponen boiler, pipa uap utama dan komponen turbin.

Metode replika sering digunakan untuk mengetahui cacat suatu komponen pada tingkat paling awal sebelum teknik-teknik uji tidak merusak atau non Destructive Examination (NDE) lainnya. Cacat mulur biasanya diawali dengan suatu lubang kecil atau adanya rongga-rongga (*cavities*) pada batas-batas butir atau fasa kedua yaitu fasa perpindahan sifat dan bentuk paduan. Dengan adanya tegangan beberapa waktu lamanya, lubang-lubang atau rongga-rongga tersebut dan saling sambung-menyambung menjadi satu, yang akhirnya terbentuk suatu cacat pada komponen seperti ditunjukkan pada Gambar 5 [1].



Gambar 5. Perkembangan retakan mulur dari rongga-rongga terpisah yang menyebar pada batas butiran menjadi rongga-rongga yang tersusun membentuk retakan makroskopis

Publikasi pertama kali yang berhubungan dengan prediksi sisa umur komponen akibat peristiwa mulur akibat adanya rongga-rongga antar butir, dikemukakan oleh Neubauer dan Wedel [2]. Mereka mengemukakan teori evolusi rongga-rongga antar butir dalam paduan baja kedalam 4 (empat) tahap yaitu rongga-rongga terisolasi, terarah, tersambung membentuk retak mikro rongga-rongga yang sudah membentuk retak makro, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengkajian perkembangan mulur berdasarkan penggolongan jenis rongga-rongga yang terjadi pada antar butir suatu paduan baja.

Berdasarkan pengamatan yang intensif dari salah satu pembangkit listrik di Jerman, Neubauer dan Wedel mengistimasi interval waktu yang diperlukan hingga terjadinya kerusakan lambat laun kondisi pembangkit listrik tersebut berdasarkan perkembangan kondisi mulur suatu komponen. Dengan menggunakan pengalaman pengamat tersebut, maka dirumuskan beberapa rekomendasi dari Neubauer dan Wedel, didasarkan pada 4 (empat) tahap perkembangan rongga-rongga antar butir suatu komponen.

1. Cacat klas A atau adanya rongga-rongga atau porositas yang terpisah yang ditunjukkan pada Gambar 6, maka rekomendasinya adalah tidak perlu ada tindakan perbaikan secara segera dalam kurun waktu kurang dari 1 tahun.
2. Cacat kelas B atau adanya rongga-rongga atau porositas yang terarah atau beberap rongga mulai menyatu atau terjadinya rongga-rongga yang sudah tersambung seperti ditunjukkan pada Gambar 6, maka rekomendasinya adalah perlu pemeriksaan ulang suatu komponen yang ada cacatnya tersebut setiap kurun waktu 1 ½ hingga 3 tahun.
3. Cacat kelas C atau adanya retak mikro atau kecil dimensinya hanya dapat dilihat dibawah mikroskop dan panjangnya lebih dari 1 millimeter seperti ditunjukkan pada Gambar 6, maka rekomendasinya adalah perlu perbaikan bahkan penggantian komponen dalam kurun waktu tidak lebih dari 6 bulan.
4. Cacat kelas D atau cacat retak makro yang dapat dilihat tanpa menggunakan mikroskop dan panjangnya lebih dari 6 millimeter seperti ditunjukkan pada Gambar 6, maka rekomendasinya adalah perlu perbaikan yang harus dilakukan secara segera.

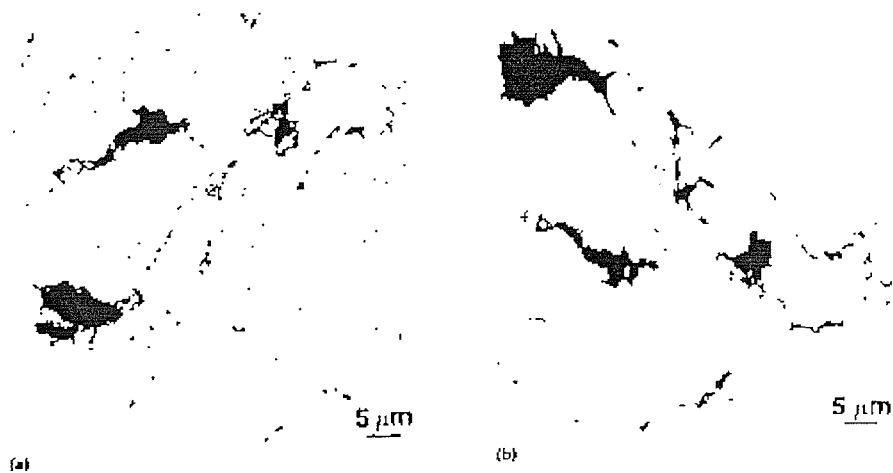
Wedel dan Neubauer menyusun beberapa usulan sederhana dan terlihat hanya merupakan teknik pemantauan daripada teknik untuk memprediksi sisa umur suatu komponen. Karena rekomendasinya yang disebutkan diatas ternyata sangat sederhana dan mudah diterapkan pada tingkat operator, maka justru rekomendasinya tersebut sampai sekarang digunakan secara meluas oleh beberapa pembangkit listrik.

Retak mulur biasanya terlokalisasi dan terjadinya pada daerah las-lasan, bengkokan atau lengkungan, atau daerah yang terkenan beban atau tegangan besar. Untuk penentuan sisa umur suatu komponen normalnya tergantung pada pengkajian dari suatu inspeksi rutin seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Dalam praktek, ada perbedaan sedikit dalam mengevaluasi hasil replika dan struktur mikro yang sesungguhnya di lapangan, sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 7. Perbedaan tersebut dikarenakan struktur mikro rongga tersebut yang sesungguhnya berupa rongga-rongga tiga dimensi yang dapat diamati kedalamannya melalui pengaturan fokus mikroskop. Sedang dengan teknik replika sumuran rongga tersebut sangat sulit. Kesulitan tersebut diakibatkan keterbatasan teknik replika untuk mengambil topografi rongga antar butir secara tiga dimensi.

Tabel 1. Klasifikasi kerusakan mulur

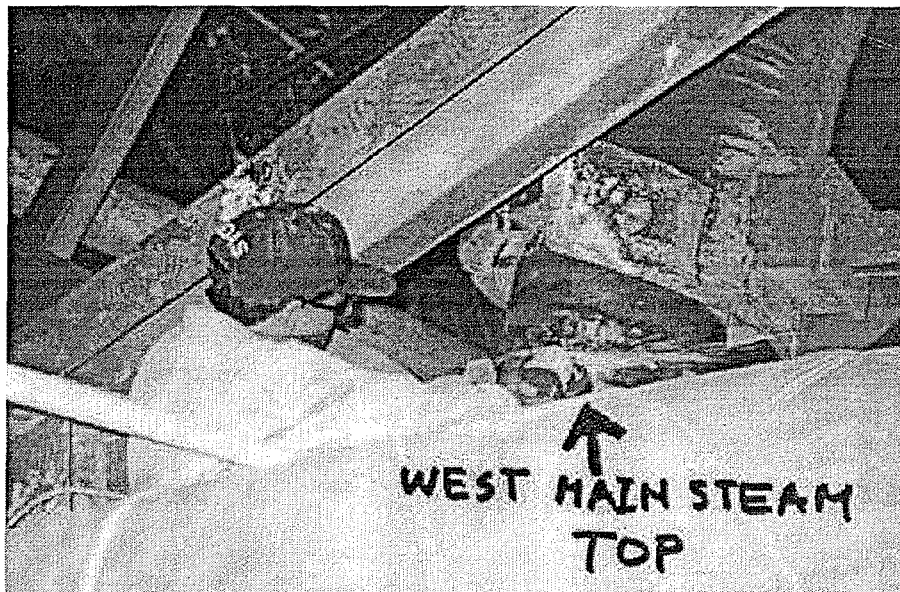
Kelas	Sifat	Tindakan
1	Tidak ada cacat mulur	Tidak ada
2	Sebuah rongga baru	Diperiksa kembali setelah 20.000 jam operasi
3	Rongga-rongga yang bersatu	Diperiksa kembali setelah 15.000 jam operasi
4	Retakan mulur mikroskopik	Diperiksa kembali setelah 10.000 jam operasi
5	Retakan mulur makroskopik	Manajemen harus segera memeberitahukan untuk perbaikan atau penggantian komponen dengan segera.



Gambar 7. Perbandingan kekosongan mulur pada (a) teknik replika dan (b) struktur mikro sesungguhnya.

#### TATA KERJA

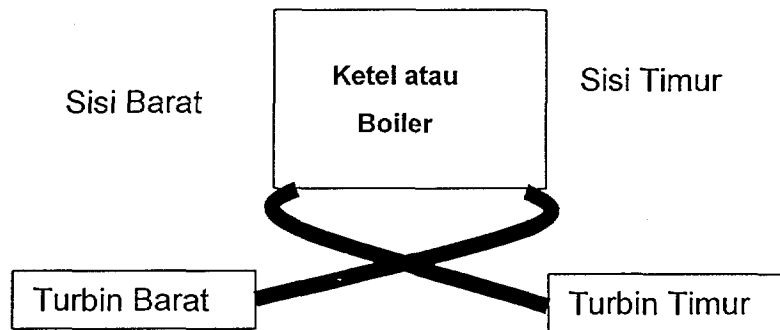
Pertama daerah las-lasan pada pipa uap utama yang akan diuji secara replika. Posisi salah satu titik las pada pipa uap utama bagian atas sebelah barat, ditunjukkan melalui sebuah photo pada Gambar 8.



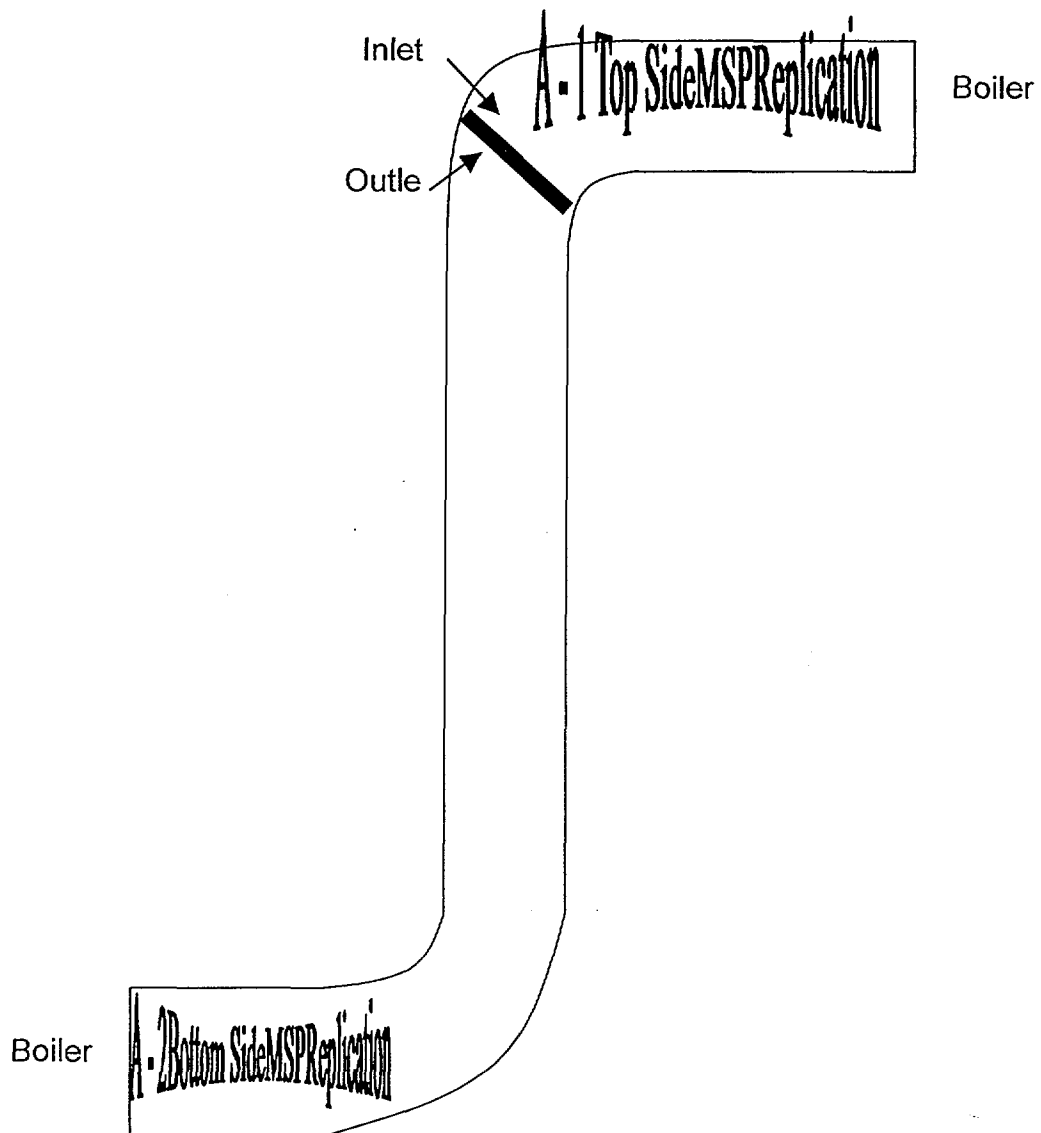
Gambar 8. Posisi salah satu las-lasan pada pipa uap utama, bagian atas sebelah barat.

Ada empat buah daerah las-lasan yang diuji, yaitu lasan-lasan bagian atas sebelah barat, bagian atas sebelah timur, bagian bawah sebelah barat dan bagian bawah sebelah timur. Perlu diketahui bahwa konstruksi Pipa Uap Utama terdiri dari dua buah pipa menyilang dan memanjang lebih dari 50 meter seperti belali gajah, yang menghubungkan uap dari ketel atau boiler ke turbin dengan sketsa seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Sedang contoh daerah pengujian replika dari salah satu Pipa Uap Utama seperti ditunjukkan pada Gambar 10.





Gambar 9. Sketsa Pipa Uap Utama yang terdiri dari dua buah pipa menyilang.



Gambar 10. Diagram posisi las-lasan pipa uap utama salah satu pembangkit listrik yang diuji replika.

Khusus untuk las-lasan pada pipa uap utama bagian atas, dilakukan pengujian pada masing-masing daerah las-lasan 2(dua) kali dengan posisi punggung dan samping, dikarenakan letaknya masih berdekatan dengan boiler sebagai sumber panas yang kemungkinan suhu uapnya belum merata sempurna. Maka untuk Pipa Uap Utama bagian atas dekat ketel, ada 4 (empat) lokasi titik uji replika. Masing-masing titik uji, menghasilkan struktur mikro untuk daerah logam dasar, daerah terpengaruh panas dan daerah logam induk (*Base Metal, Heat Affected Zone dan Welding Metal* atau BM, HAZ, WM).

Pada las-lasan pipa uap utama bagian bawah, untuk setiap las-lasan hanya diambil sebuah titik uji, dikarenakan keterbatasan bahan dan waktu penelitian yang sangat terbatas. Sehingga untuk Pipa Uap Utama bagian bawah yang dekat ke turbin hanya 2 (dua) titik uji replika. Tentu saja dengan banyaknya titik-titik yang diambil akan menunjukkan hasil penelitian yang lebih akurat. Tetapi sehubungan alat dan bahan untuk uji replika sangat mahal, maka akan lebih baik jika dilakukan dengan uji lainnya seperti uji ultrasonik.

Dengan demikian untuk seluruh Pipa Uap Utama, ada 6 titik uji replika atau 18 daerah struktur mikro yang diamati dengan uji replika.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa hasil pengujian replika untuk pipa uap utama daerah las-lasan atau *Weld Metal* (WM), daerah terpengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ) dan daerah logam dasar atau *Base Metal* (BM) seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

Cacat yang dijumpai adalah dua buah cacat porositas berasal dari dua titik cuplikan dari enam buah titik populasi pengambilan cuplikan secara uji replika. Cacat porositas tersebut berdasarkan perkembangan rongga yang dikemukakan oleh Neubauer dan Wedel masih dalam parameter kerusakan atau cacat pada taraf A atau adanya rongga-rongga atau porositas yang terpisah yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Parameter kerusakan A tersebut berarti tidak perlu adanya tindakan apa-apa sampai dilakukan pemeliharaan besar-besaran sesuai jadwal yang telah ditetapkan berikutnya. Cacat porositas tersebut berupa rongga yang terisolasi dan belum perlu dilakukan penggantian komponen pipa uap utama bahkan perlu diperiksa lagi dalam kurun waktu lebih dari 3 tahun sesuai rekomendasi dari Wedel dan Neubauer. Sehingga Pipa Uap Utama yang digunakan sejak dari tahun 1985, cacat porositas tersebut belum merupakan cacat yang serius, dan cacat porositas tersebut masih dapat diterima berdasarkan Standar ASME VIII tahun 1995 maupun AWS D.1.1 tahun 96 butir 8.15.3.2 (5) dimana dimensinya kurang dari 10 mm.

Terjadinya cacat porositas dapat diakibatkan adanya inklusi gas. Gas yang larut pada logam las cair (*molten weld*) harus segera dikeluarkan sebelum logam membeku. Jika tidak, maka gas tersebut akan terperangkap dalam logam las padat dalam bentuk rongga-rongga atau porositas. Gas yang berada dalam rongga-rongga atau porositas tersebut dapat mengandung CO atau H. Porositas timbul karena gas pelindung dari fluks elektroda kawat las tidak mampu melindungi gas hidrogen dan karbon monoksida dari udara agar tidak terjebak masuk kedalam logam las yang mencair.

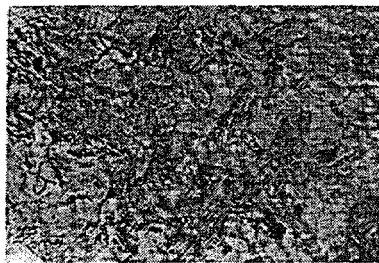
Porositas dapat terjadi karena tiga hal berikut:

1. Pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan saat dilakukan pengelasan Pipa uap Utama. Gas tersebut antara lain gas hidrogen dan nitrogen
2. Terbentuknya gas karena adanya reaksi kimia di dalam logam las. Gas yang terbentuk adalah gas CO dalam logam cair lasan (*molten weld*).
3. Penyusupan gas kedalam atmosfer busur (*arc*) dari sambungan lasan Pipa Uap

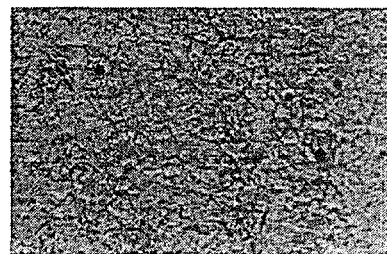
Utama. Gas yang menyusup adalah gas pelindung atau fluks elektroda kawat las atau udara yang terkurung dalam akar kampuh las (*root grove weld*).

Dari adanya cacat porositas pada Pipa Uap Utama dapat diambil kesimpulan sementara, bahwa jika yang terjadi hanya cacat porositas yang masih dapat diterima berdasarkan standar ASME VIII tahun 1995 maupun AWS D.1.1 tahun 1996, maka cacat tersebut sudah terjadi sejak mula dilakukan pengelasan dan bukan karena akibat pengoperasian komponen siklus uap air pembangkit listrik.

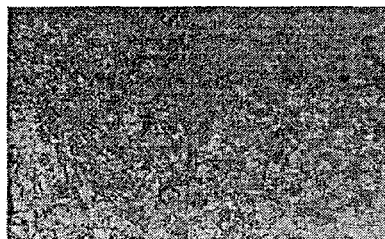
Dua buah cacat porositas tersebut yang pertama berasal dari pipa uap utama sebelah timur bagian atas, yang diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 50 x, dan permukaan cuplikan dietsa dengan 3% nital. Cacat kedua juga berbentuk porositas, berasal dari pipa uap utama bagian barat bagian bawah, yang diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 100x, dan cuplikan dietsa dengan 3% nital,



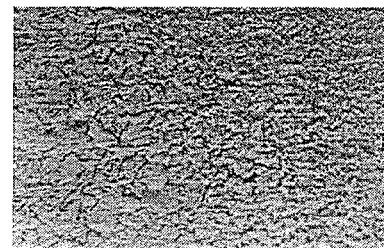
Posisi A1, Pipa Uap Utama barat, bagian atas, BM, 100x, 3% Nital, tidak nampak kelainan struktur mikro



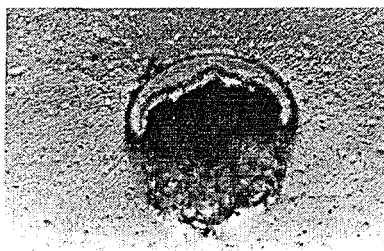
Posisi A2, Pipa Uap Utama timur, bagian bawah, BM, 100x, 3% Nital, tidak nampak kelainan struktur mikro



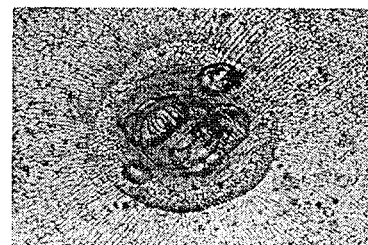
Posisi A2, Pipa uap utama sebelah barat, bagian bawah, HAZ, 100x, 3% Nital, tidak nampak kelainan struktur mikro



Posisi A2, Pipa Uap Utama sebelah timur, bagian bawah, HAZ, 100x, 3% Nital, tidak nampak kelainan struktur mikro



Posisi A1, Pipa uap utama sebelah barat, bagian atas, WZ, 50x, 3% Nital, terlihat adanya cacat porositas.



Posisi A1, Pipa uap utama sebelah timur, bagian atas, WZ, 50x, 3% Nital, terlihat adanya cacat porositas.

Gambar 11. Hasil pengujian tertentu dari uji replika pipa uap utama.

## KESIMPULAN

Penilaian keutuhan material pada komponen pipa uap utama pembangkit listrik dapat dilakukan dengan pengujian menggunakan teknik replika. Dari salah satu pembangkit listrik di Jawa Barat yang telah beroperasi 12 tahun, ternyata dijumpai dua buah cacat porositas yang digolongkan dalam cacat kelas A. Cacat porositas tersebut tergolong rongga yang terisolasi dan belum perlu dilakukan penggantian komponen pipa uap utama tersebut dalam waktu kurang dari 3 tahun.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan dan staf PLTU Suralaya, serta kerjasama yang baik para rekan-rekan JTK-LMK-PLN Jakarta, yang telah menyediakan tempat penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. KNUD G. Boving, NDE Handbook, Butterworths, 1989, halaman 280.
2. B.NEUBAUER and U. WEDEL, "Rest life Estimation of Creeping Components by means of Replicas, In Advanced in Life Prediction Methods", D.A. Woodford and J.R. White head, Ed., American Society of Mechanical Engineers, New York, 1983, halaman 307 - 314.
3. R. VISWANATHAN, " Damage Mechanisms and Life assessment of High-Temperature component, ASM international, Ohio, 1989, halaman 186, 207.